

Sistemas de trilla y separación en cosechadoras de cereal

Descripción de sistemas convencionales y sistemas alternativos más avanzados

Si repasamos los nuevos modelos de cosechadoras, las diferencias fundamentales entre ellas se encuentran en los sistemas de trilla y separación. En este artículo se explican sus componentes y funcionamiento y se dan ejemplos de máquinas basadas en cada uno de ellos.

Constantino Valero.

Ingeniero agrónomo.
Universidad Politécnica de Madrid.

Hoy en día, en el mercado de maquinaria para la cosecha del cereal existen muchas alternativas adaptadas a cada explotación, en función de las necesidades de trabajo requeridas. En este sentido, hay dos elementos fundamentales en las cosechadoras, que son el elemento de trilla y el de separación. En este trabajo se realiza un completo estudio de éstos tanto en cosechadoras convencionales como en modelos de cosechadoras avanzadas que implantan cada vez más elementos que mejoran la trilla y separación y aumentan la productividad de la máquina.

Sistemas convencionales

Elementos de trilla convencionales

La operación que realizan los elementos del sistema de trilla de una cosechadora es la separación del grano de la espiga. Los órganos de trilla de una cosechadora convencional son el cilindro desgranador y el cóncavo, con los que se separa, es decir, se trilla, alrededor del 90% de los granos. Esta cifra también se conoce como "eficacia de trilla".

Existen básicamente dos tipos de cilindros desgranadores:

1. De dientes o dedos. Se llama también cilindro americano; en él unos dedos metálicos periféricos pasan por entre cada dos dedos fijos del cóncavo, produciéndose el desgranado por fricción de las espigas entre los de-

dos fijos y móviles. Este sistema en la actualidad apenas se utiliza, si bien se adapta eficazmente a la recolección del arroz. Absorbe más potencia que el de barras.

2. De barras. Es el que más se utiliza. Está constituido por seis u ocho barras periféricas de acero que presentan una forma exterior redondeada y cubierta de estrías oblicuas. Dos barras sucesivas están dispuestas en el estriado inclinado de distinta dirección, con objeto de que la mies no se desplace hacia un extremo del cóncavo. Este tipo es llamado europeo y sus características son: diámetro comprendido entre 400 y 600 mm; longitud entre 0,80 y 1,80 m y su velocidad generalmente regulable entre 400 y 1.600 rpm.

Detrás del cilindro desgranador va un cilindro batidor, también llamado lanzapajas o moliinete expulsor, que ayuda a pasar la paja a los sacudidores.

Las dos regulaciones que pueden hacerse son la velocidad del cilindro y la separación entre cilindro y cóncavo. Cuando el grano está húmedo es conveniente aumentar la velocidad, mientras que cuando está seco conviene disminuirla. Igualmente, si se parte grano es preciso separar el cóncavo, mientras que si se pierde con la paja es necesario acercarlo. La separación entre el cilindro y el cóncavo es distinta a la entrada y a la salida. La separación en la entrada varía entre 13 y 18 mm y en la salida debe ser me-

nor que el diámetro medio de los granos. Como orientación se puede decir que para trigo de invierno, avena y centeno, la distancia entre el cilindro y el cóncavo es de 15/5 (15 mm a la entrada y 5 mm a la salida), aunque la entrada puede reducirse a 10 mm. Distancias más pequeñas sólo son recomendables para cebada y trigo de primavera.

El cóncavo se caracteriza por el ángulo de trilla, que varía entre 100° y 120°, determinado por el sector que abarca desde la entrada hasta la descarga. La longitud de dicho sector y su anchura establecen la superficie de trilla. Dicha longitud viene a estar comprendida entre 50 y 65 cm, según el diámetro del cilindro.

A mayor número de revoluciones del cilindro, la eficiencia de trilla es mayor y las pérdidas de grano menores, aunque también hay más peligro de daños por rotura del grano.

La eficacia del trabajo de un dispositivo de trilla se determina en función de su velocidad periférica, estableciendo las pérdidas y los daños producidos en cada punto. Un dispositivo de trilla puede calificarse como bueno cuando hay una zona óptima de trabajo en la que tanto las pérdidas como los daños que se producen son despreciables.

Elementos de separación convencional

La función que realiza el sistema de separación de una cosechadora es la separación del gra-

no de la paja. Los órganos de separación de una cosechadora convencional son los sacudidores, constituidos por una criba única o conjunto de cribas con amplios agujeros y con movimiento de vaivén, que sirve para separar el resto del grano (10%) que queda entre la paja.

Por analogía con elementos de las antiguas trilladoras, los sacudidores son denominados también sacapajas o zarandones, y el fondo inclinado de la caja de cribas que recoge las granzas, vale-ro.

El sacudidor convencional está constituido por un conjunto de rejillas calibradas que permiten el paso del grano y la paja corta. Puede estar formado por un solo elemento o por varios elementos dentados en forma de rampas oscilatorias accionadas por un cigüeñal cuyo radio de muñequilla varía entre 4 y 10 cm, desplazándose adelante y atrás a un ritmo de 200 a 250 oscilaciones por minuto.

En ambos casos se montan según una pendiente creciente a partir de la zona de descarga del cilindro, de 8 a 15°. Esta pendiente ha de ser suficiente para que se separe el grano que queda sin trillar, pero no excesiva, con objeto de que no se obligue a trabajar demasiado a la máquina y se produzcan atascos.

El tamaño del sacudidor es uno de los parámetros que en gran medida condicionan la capacidad de asimilación de producto de la cosechadora. Ésta puede ser estimada, como valor indicativo, entre 1 y 1,2 kg/s por m² de superficie.

Para favorecer la separación del grano remanente en la paja (10%) y el flujo de la misma, sobre algunos sacudidores se instalan ahuecadores intensivos o batidores, dotados de púas oscilantes o giratorias, que remueven la paja según avanza.

Por último, el grano y la paja cortado y las impurezas son vertidas al sistema de limpieza, bajo los sacudidores donde se produce la separación del grano de la paja. Los elementos de limpia-

CUADRO 1.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRILLA Y SEPARACIÓN ACTUALES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Sistema	Funciones que realiza	Principio físico de separación	Elementos	Posición de los cilindros	Movimiento de la mies en relación a los elementos	Rotación
Trilla convencional	trilla	fricción, gravedad	cilindro desgranador, cóncavo	transversal a la máquina	tangencial al cilindro (sector de circunferencia)	entre cilindro desgranador y cóncavo
Separación convencional	separación	sacudida, gravedad	sacudidores	(no tiene)	lineal sobre los sacudidores	(ninguna)
Trilla mejorada	trilla	fricción, gravedad	cilindros desgranadores múltiples, cóncavos	transversal a la máquina cilindros	tangencial a los (sector de circunferencia)	entre cilindros múltiples y sus cóncavos
Separación rotativa transversal	trilla y separación	fricción, fuerza centrífuga	cilindros trilladores-separadores múltiples, cóncavos	transversal a la máquina	tangencial a los cilindros (sector de circunferencia)	entre cilindros múltiples y sus cóncavos
Separación rotativa longitudinal	separación (a veces, trilla)	fuerza centrífuga	rotores	longitudinal a la máquina	helicoidal	entre el eje de los rotores y su carcasa enrejillada

(bandeja de grano, cribas, ventilador) no han evolucionado mucho en las nuevas cosechadoras de cereales.

Los sistemas alternativos

En los modelos de cosechadoras más avanzados se están implantando cada vez más otros sistemas de trilla y separación diferentes a los vistos anteriormente. En ocasiones se sustituyen solamente los órganos convencionales de separación, o bien se modifican a la vez los elementos de trilla y separación. Los elementos de limpia siguen siendo los convencionales en casi todos los casos.

Podemos apreciar dos tendencias en las cosechadoras más innovadoras:

1. Aumento de la superficie de trilla mediante adición de cilindros auxiliares: se mantienen los sistemas de separación por sacudidores, pero se incluyen cilindros desgranadores adicionales en paralelo al existente. Es lo que vamos a denominar trilla mejorada.
2. Sustitución de los sacu-

didores (y en ocasiones de los elementos de trilla) por nuevos mecanismos: a este sistema se le llama separación rotativa forzada para diferenciarlo de la separación clásica, que es lineal (la paja no gira alrededor de ningún elemento) y no forzada (la paja fluye libremente sobre los sacudidores sin estar sometida a presión). Hay dos variaciones en cuanto al modo de separación:

- a) Por cilindros separadores transversales.
- b) Por cilindros separadores longitudinales.

En el **cuadro 1** se resumen las características más importantes de los distintos sistemas siguiendo la clasificación anterior, si bien existen numerosas excepciones y

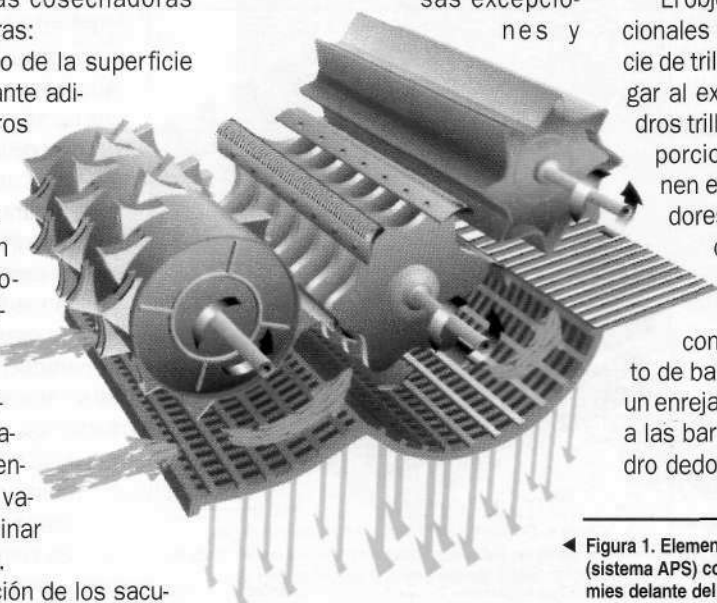
particularidades de cada fabricante, que hacen que las indicaciones de dicha tabla sean sólo una generalización.

Trilla mejorada + separación convencional

En ocasiones algunos fabricantes montan más cilindros junto al desgranador, como los cilindros aceleradores de mies o los separadores rotativos transversales, que contribuyen al proceso de trilla, ahuecan la paja para que comience el proceso de separación y hacen más fluido el paso de la paja. Detrás de estos cilindros adicionales se sitúan los sacudidores convencionales, que realizan su función de separación.

El objetivo de los cilindros adicionales es aumentar la superficie de trilla de la máquina, sin llegar al extremo de emplear cilindros trilladores de enormes proporciones. La forma que tienen estos cilindros desgranadores adicionales puede ser de dos tipos:

- Cilindros de superficie en jaula, constituidos por un conjunto de barras soldadas formando un enrejado; perpendicularmente a las barras sobresalen del cilindro dedos trilladores dispuestos



◀ **Figura 1.** Elementos de trilla mejorados de Claas (sistema APS) con un cilindro acelerador de mies delante del desgranador.

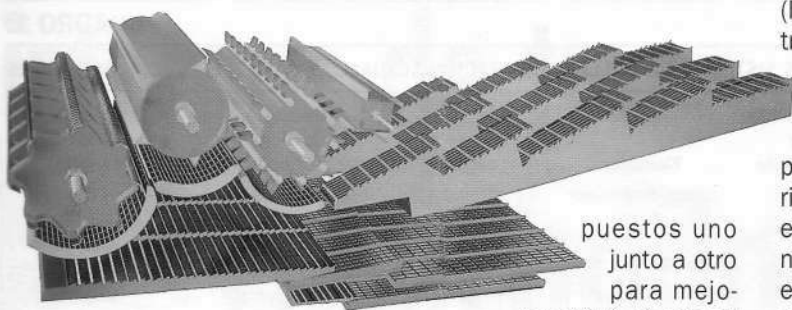


Figura 2. En las cosechadoras TX y CX de New Holland se mejora el proceso de trilla mediante dos cilindros adicionales (uno liso y otro con dedos) entre desgranador y lanzapajas.

en filas, similares a los presentes en los cilindros desgranadores de arroz, ya en desuso.

- Cilindros de superficie lisa: con aspecto cerrado, sobresalen dientes o dedos trilladores dispuestos en forma helicoidal o lineal.

Un fabricante que ha optado por este sistema de mejorar la trilla en todos sus modelos nuevos es Claas, con las recientes Lexion (510, 560, 57 y 580) y Mega (350 y 360). Bajo el nombre de APS Claas monta un cilindro acelerador delante del desgranador, más un lanzapajas trasero (figura 1). La función del cilindro adicional delantero es acelerar el producto y que entre con mayor velocidad en el sistema de trilla. Debajo de los tres cilindros existe una superficie similar al cóncavo tradicional, adaptada a la nueva geometría de tres cilindros transversales. Además, como novedad, este cóncavo múltiple se puede ajustar con mayor precisión y de forma totalmente paralela a los cilindros gracias a un nuevo sistema de reglaje inteligente que depende de un único tornillo en los modelos superiores de Lexion.

Las Deutz-Fahr 5485 HT, 5585 HT, las más grandes de las series 54 y 55, también incorporan un cilindro adicional delante del desgranador (40 cm de diámetro), formado por discos estrellas dis-

puestos uno junto a otro para mejorar el flujo de mies y contribuir a la trilla. Sin embargo, para la serie 56 se ha desarrollado otro concepto diferente, el turboseparador, que es un cilindro-jaula adicional de 59 cm de diámetro, situado detrás del desgranador y el lanzapajas, con su cóncavo propio debajo. Posee dedos largos que sobresalen radialmente, para batir y acelerar la paja. Además, es retraíble, de forma que cuando queramos tratar la paja más delicadamente, el turboseparador puede ascender hasta su posición de reposo.

John Deere, en su gama 9000, opta por dar más diámetro al cilindro batidor convencional y extender el cóncavo por debajo del mismo, lo cual mejora la eficacia de trilla, si bien no añade cilindros complementarios.

Las cosechadoras New Holland de la serie TX y CX disponen de cilindros adicionales para mejorar la trilla: uno de superficie plana y aristas continuas longitudinales justo detrás del desgranador, y otro cilindro de dedos

(llamado separador rotativo) entre el anterior y el lanzapajas final (figura 2). El separador rotativo trasversal cilindro de dedos también está

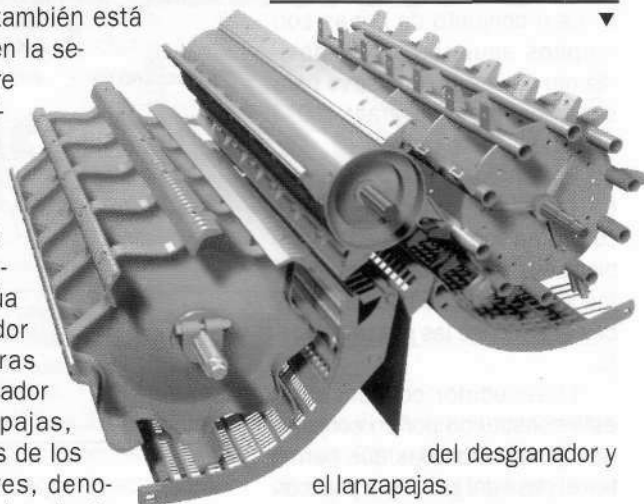
presente en la serie AL, entre el desgranador y el lanzapajas. La serie CS, sin embargo, sitúa el separador rotativo tras el desgranador y el lanzapajas, justo antes de los sacudidores, denominando al conjunto Opti-Threshold (figura 3). Debajo de todos los cilindros se encuentran sus correspondientes cóncavos.

En el caso de Laverda, el sistema MCS (Multi Crop Separator) incrementa las prestaciones en los últimos modelos de cosechadoras de esta firma, separando los granos del producto antes de que llegue al sacudidor, mediante una ampliación de los órganos de trilla. Un cilindro adicional de dedos justo antes de los sacudidores somete al producto a una acción de rotación forzada contra su propio cóncavo inferior. El MCS puede ser desactivado en el caso de que se desee solamente airear la paja con la acción del cilindro, para lo cual su cóncavo auxiliar se retrae hacia arriba. Además, con este sistema no se renuncia a la utilización de la longitud total de los sacudidores de paja (figura 4).

Case IH también incorpora sistemas de trilla mejorada mediante cuatro cilindros (desgranador, pre-separador, separador rotativo transversal y lanzapajas) en las cosechadoras de la serie CT.

Asimismo, las Cereas de Massey-Ferguson añaden un cilindro separador rotativo de dedos detrás

Figura 3. La trilla mejorada de las CS de New Holland se basa en un cilindro separador rotativo transversal detrás de los elementos convencionales (desgranador y lanzapajas).



Trilla convencional + separadores rotativos longitudinales

En este sistema se mantiene la trilla convencional, pero se sustituyen los sacudidores por una pareja de rotores paralelos longitudinales a lo largo de la cosechadora y de grandes dimensiones. Estos rotores son cilindros macizos, tienen dedos o dientes en su superficie y giran dentro de otros cilindros fijos exteriores que hacen las veces de cóncavos de separación. Al conjunto del rotor y su cóncavo concéntrico exterior se le llama separador rotativo.

Cada uno de los cóncavos longitudinales exteriores está cerrado por su parte superior y abierto mediante rejilla por debajo. Constan de una serie de barras helicoidales en su cara interna, situadas en la parte superior, mientras que en la mitad inferior se hallan las rejillas de caída del grano que va siendo separado. Estas son intercambiables en la zona anterior, o de trilla propiamente dicha, y fijas en la parte posterior, donde se lleva a cabo la separación. Algunos fabricantes cuentan con la posibilidad de equipar sistemas electrónicos de regulación de la abertura de estas rejillas (Claas Lexion 470).

En este caso los rotores no realizan la trilla, que es llevada a cabo por el cilindro desgranador transversal normal con su cóncavo

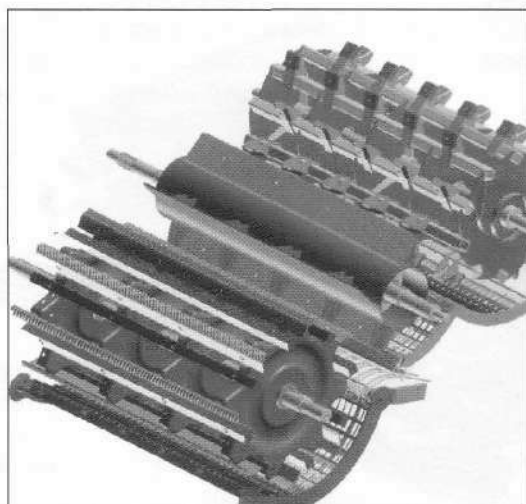


Figura 4. El sistema MCS de Laverda incrementa las prestaciones de las máquinas al separar los granos del producto antes de que llegue al sacudidor.

vo, por lo que dichos rotores presentan un diseño más sencillo y con menos dedos que en el siguiente caso.

Este sistema alcanza mayor eficacia cuando la velocidad periférica de cada rotor ronda los 25 m/s, para cultivos de cereal del tipo trigo y cebada. Se han observado mejoras de rendimiento en cosechadoras de maíz, pero se muestra similar al sistema clásico en la recolección de cereales de invierno. Al ser más corta la cosechadora resulta más maniobrable y su mecánica más sencilla. Además, con este sistema los procesos de trilla y separación se realizan en la mitad de tiempo que en una cosechadora convencional.

Las cosechadoras John Deere de la serie CTS siguen este esquema de trilla convencional seguida de dos separadores rotativos longitudinales. Son máquinas que permiten separar mejor el grano en condiciones difíciles, como cultivos verdes y húmedos (figura 5).

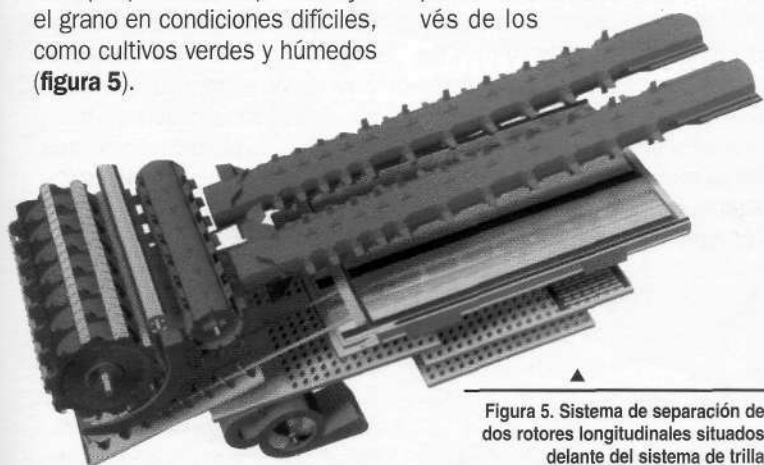


Figura 5. Sistema de separación de dos rotores longitudinales situados delante del sistema de trilla convencional (cilindro desgranador + cóncavo), (John Deere CTS).

Trilladores-separadores rotativos longitudinales

Un diseño muy parecido al anterior es el sistema de separación rotativa que sustituye el cilindro desgranador típico transversal y todo el sistema de sacudidores por una pareja de separadores paralelos (uno o dos rotores, según fabricantes) longitudinales a lo largo de la cosechadora y de grandes dimensiones, que giran dentro de otros dos cilindros fijos concéntricos. En este caso, los separadores rotativos realizan tanto la función de trilla como la de separación del grano restante; por ello, al conjunto del

rotor y su cóncavo concéntrico exterior se le puede llamar trillador-separador rotativo.

Cada rotor cilíndrico longitudinal posee las siguientes partes:

- Aspirador de paletas helicoidales en su extremo anterior para alimentar la mies.

- Conjunto de barras o dedos trilladores dispuestos helicoidal y longitudinalmente en su primera mitad por su superficie, en ocasiones con aristas o estrías. Son análogos a las barras de trilla de un cilindro desgranador tradicional y realizan la misma función.

- Conjunto de dedos más espaciados en su segunda mitad o barras lisas helicoidales, cuya misión es la de separar el grano de paja previamente trillado.

La mies, que llega desde el canal de alimentación, es obligada a pasar entre los rotores trilladores-separadores y los cóncavos longitudinales. El grano desprendido cae a través de los

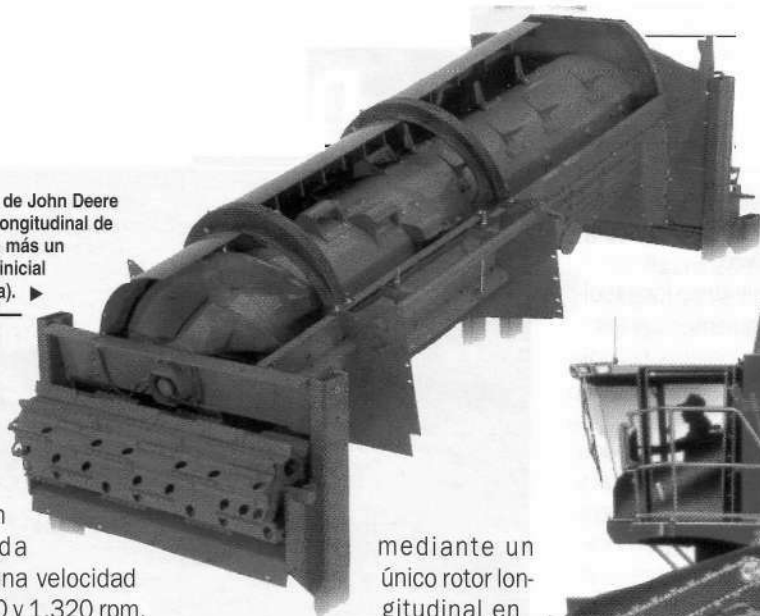
cóncavos hacia la caja de cribas convencional, mientras que la paja sigue girando hasta su abertura posterior.

Basados en este sistema de separación de flujo axial existen dos tipos de máquinas:

- De rotor único: dicho rotor tiene un diámetro de ~75 cm y una longitud de ~270 cm, presentando una superficie de trilla y separación de ~2 m². La velocidad de rotación puede regularse entre 280 y 1.040 rpm.

- De doble rotor: se compone de dos rotores paralelos que gi-

Figura 6. El sistema STS de John Deere consta de un solo rotor longitudinal de trilla-separación rotativa, más un cilindro de alimentación inicial (no disponible en España). ►



ran en sentido inverso, de unos 220 cm de longitud y unos 45 cm de diámetro cada uno, que giran a una velocidad regulable entre 580 y 1.320 rpm. La superficie de trilla y separación es también de $\sim 2 \text{ m}^2$. Los dos cilindros giran en sentidos inversos, lo que contrarresta vibraciones al conjunto, disminuyendo notablemente el ruido y las molestias para el conductor.

Un fabricante que apuesta por este sistema de trilla y separación conjuntas mediante rotores es New Holland, con su serie CR, en la que el canal de ascensión de mies alimenta directamente a dos rotores con barras desgranadoras y aletas separadoras segmentadas, colocadas en zig zag y montadas en espiral.

Case IH fabrica sistemas de trilla + separación

mediante un único rotor longitudinal en sus cosechadoras equipadas con el sistema Axial-Flow. Consta de un separador rotativo de grandes dimensiones que sustituye a desgranador y sacudidores.

John Deere sacó al mercado americano la cosechadora 9880 STS, con un único separador rotativo longitudinal (figura 6). Delante de este trillador-separador se ha instalado un cilindro similar en su aspecto al desgranador clásico, pero que sólo realiza una función de alimentación al separador rotativo. Se trata de una cosechadora de gran potencia y capacidad, pensada para extensiones de cultivo importantes.

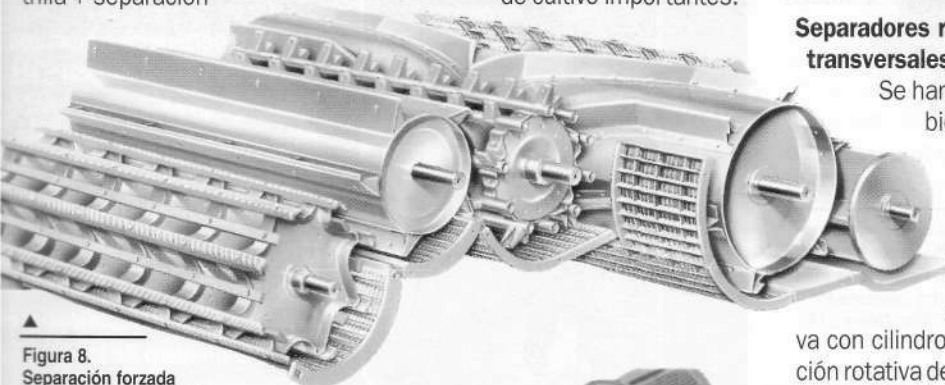


Figura 8. Separación forzada mediante cilindro rotativo transversal de doble flujo lateral. De izquierda a derecha: desgranador, sacapajas, separador rotativo, cilindro de doble flujo y batidor (New Holland TwinFlow).

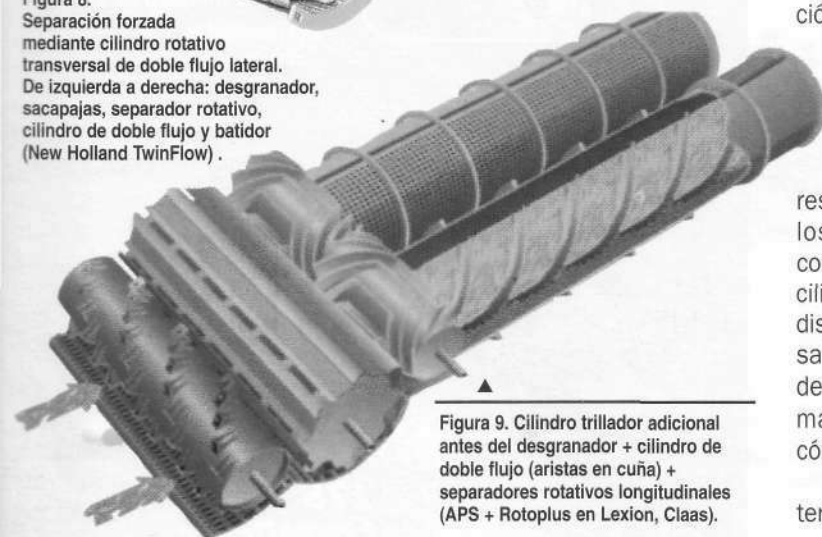
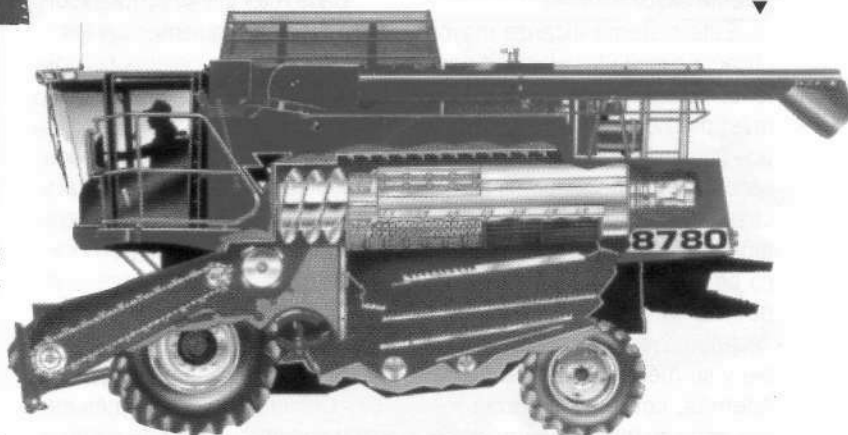


Figura 9. Cilindro trillador adicional antes del desgranador + cilindro de doble flujo (aristas en cuña) + separadores rotativos longitudinales (APS + Rotoplus en Lexion, Claas).

Figura 7. La Massey-Ferguson 8780 es difícil de ver en España. Consta de un único rotor de trilla-separación rotativa longitudinal, alimentado por un pequeño cilindro de alimentación bajo su extremo delantero. ▼



Una solución similar ideó Massey-Ferguson con su cosechadora 8780, no comercializada en España (figura 7). También dispone de un único rotor trillador-separador longitudinal precedido de un pequeño cilindro alimentador. Es curioso que en este modelo el rotor se encuentra en posición totalmente horizontal, a diferencia de todos los rotores de la competencia, que están dotados de una pendiente ligeramente ascendente.

Separadores rotativos transversales

Se han desarrollado también otros sistemas de separación forzada que sustituyen los sacudidores por órganos diferentes: separación rotativa con cilindro múltiple y separación rotativa de doble flujo lateral.

El primero de ellos, de cilindro múltiple, consta de una serie de ocho cilindros transversales dentados, paralelos al de trilla y con sus respectivos cóncavos, por entre los cuales circula la paja, así como el grano no recogido en el cilindro. Cada uno de los cilindros dispone de seis barras transversales de fricción, similares a las de un cilindro desgranador normal. La superficie total de los cóncavos es de unos 8 m^2 .

El segundo, de doble flujo lateral, está compuesto por dos o

tres cilindros similares a los anteriores detrás del desgranador, más un rotor cilíndrico de gran anchura, todos paralelos y transversales a la máquina. Sobre el último cilindro se montan unas aristas helicoidales simétricas que desplazan la paja a un lado y a otro del plano vertical medio de la máquina. Esta geometría separa el conjunto paja/grano en dos flujos, uno hacia cada extremo del cilindro, y hace que den una vuelta completa a su alrededor en sentidos contrarios. Bajo este rotor se dispone otro cóncavo cuya superficie es de unos 4 m^2 . Dicho sistema permite el paso de la paja a una velocidad tres veces superior que uno convencional. Gracias a la fuerza centrífuga generada, el material se pega a las paredes del cóncavo expulsando los granos sueltos. New Holland monta este sistema (TwinFlow, figura 8) en las cosechadoras de su serie TF.

En ocasiones se combina este dispositivo con el de separadores rotativos longitudinales, instalando desgranador + cilindro de doble flujo + pareja de cilindros axiales (Claas Rotoplus, figura 9); en este caso, el cilindro de doble flujo con aristas helicoidales tiene como función embocar la mies desde los órganos de trilla hasta el interior de los separadores rotativos longitudinales.